

# CARACTERITZACIÓ DEL CARST DEL MIGJORN

## la seva contribució al modelat del territori

Joaquín Ginés i Joan J. Fornós

*Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears*

### INTRODUCCIÓ

La meitat meridional de l'illa de Menorca és un territori d'aparença tabular, constituït per materials calcaris del Miocè superior. En aquesta regió natural, coneguda com el Migjorn, el modelat càrstic és sens dubte un dels sistemes morfogènics que contribueix a configurar-ne decisivament el relleu. El carst de la zona –que en línies generals podria ser considerat com més aviat modest– presenta formes exocàrstiques que es limiten a dolines de mides variades, al temps que l'endocarst ens ofereix abundants cavitats de dimensions en general poc destacades. Els condicionants litoestructurals i geomorfològics fan possible distingir en el Migjorn tres subregions càrstiques, amb caràcters ben diferenciats, sobretot en els vessants hidrològic i espeleològic. Resulten de notable interès les interaccions observables entre els diversos sistemes morfogènics que actuen a la zona (carstificació, erosió fluvial i dinàmica litoral, bàsicament), les quals aconsellen contemplar el relleu del Migjorn com una cruïlla de modelats que han evolucionat durant el Plio-quaternari amb relativa independència.

En el present treball se sistematitzen els coneixements disponibles actualment sobre el carst d'aquesta regió natural de Menorca,

posant un especial èmfasi en l'endocarst –amb la descripció dels principals tipus de cavitats– i avaluant el paper d'aquest sistema morfogènic en la configuració actual del paisatge del Migjorn.

### ANTECEDENTS

L'illa de Menorca, i molt en particular la seva zona meridional –la regió del Migjorn (Rosselló *et al.*, 2003)–, és un territori on predomina el rocam carbonatat. Aquesta circumstància obliga a fer una referència detallada al modelat càrstic, si volem descriure adequadament els trets principals de la geomorfologia de l'illa, així com intentar també esbrinar els processos que n'han configurat el relleu.

Les investigacions sobre el carst menorquí no són gaire nombroses i, de més a més, són bastant recents. Les primeres recerques es publiquen en la dècada dels anys cinquanta del segle passat i són bàsicament resultats de campanyes espeleològiques desenvolupades per investigadors catalans; en particular, Thomas-Casajuana i Montoriol-Pous (1951) s'ocupen de les formes subterrànies properes a cala Blanca –al sud de Ciutadella–, treball que constitueix tal vegada la primera aportació substancial al coneixement del carst del Migjorn de Menorca. De tota manera, cal citar

alguns precedents, d'interès exclusivament històric, que es remunten a final del segle XIX i primera del XX, en els quals s'enumeren i descriuen algunes cavitats naturals menorquines (Puig y Larraz, 1896; Maheu, 1912).

No ens ha de sorprendre que aquestes investigacions pioneres estiguin dirigides a l'estudi dels fenòmens subterranis: hem de tenir present que el modelat exocàrstic de l'illa és més aviat modest i poc espectacular (com es veurà més endavant), de tal manera que les abundants coves existents constitueixen una de les manifestacions més cridaneres del carst del Migjorn. Aquesta preeminència dels treballs de caire espeleològic es perllonga durant les dècades dels setanta i vuitanta, com a resultat de l'expansió de les activitats espeleològiques a les nostres illes. Successives campanyes s'ocupen dels fenòmens endocàrstics del barranc d'Algendar (Mir, 1976), dels barrancs de Binigua i de Son Boter (Mir, 1979), com també de nombroses cavitats més o manco importants localitzades a diferents indrets de l'illa (Trias, 1985; Trias i Ginés, 1989). Les activitats espeleològiques es perllonguen fins a l'actualitat, propiciant fins i tot importantíssimes troballes paleontològiques i arqueològiques (Seguí *et al.*, 1998; Lull *et al.*, 1999).

Encara que de forma molt esporàdica, alguna publicació s'apropa també al carst de Menorca des d'una perspectiva que el reconeix com a un sistema d'erosió específic, el qual contribueix activament al modelat del territori que ens ocupa. Esmentarem, en aquest sentit, l'esbós geomorfològic de l'illa realitzat per Obrador i Mercadal (1981) i, sobretot, l'acurat estudi inèdit sobre el carst del Migjorn efectuat per García-Senz (1985), treball que consideram una valuosa fita dins el coneixement geomorfològic de l'illa.

Els materials carbonatats de la meitat meridional de Menorca han estat així mateix objecte d'atenció des d'un punt de vista estrictament hidrogeològic, però sense aprofundir en les relacions entre la hidrologia subterrània i l'espeleogènesi associada a l'evolució geomorfològica d'aquesta regió. Alguns treballs, com el de Barón *et al.* (1979), s'ocupen dels recursos hídrics del Migjorn, focalitzant els problemes

d'intrusió salina als extrems occidental i oriental de l'àrea que ens interessa.

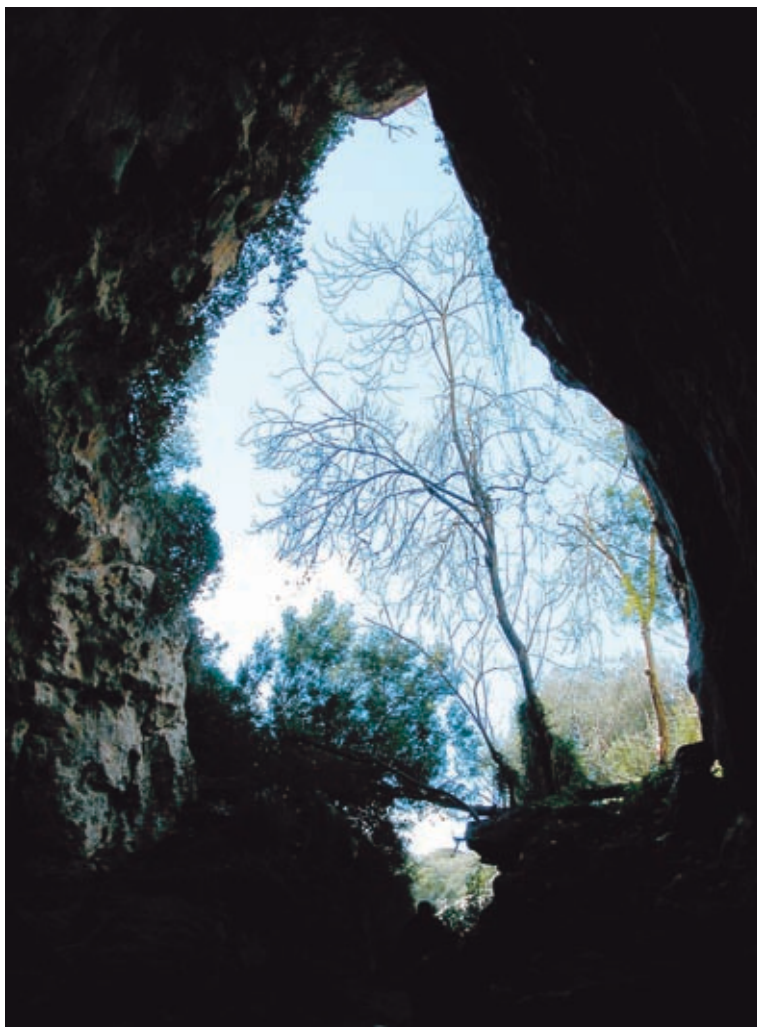
A partir de la dècada dels noranta té lloc una nova remesa d'aportacions, dirigides cap a la interpretació de com el modelat càrstic ha participat en la configuració de la fisonomia actual del paisatge del Migjorn. Dins el marc d'un estudi geomorfològic exhaustiu de l'àrea, diferents publicacions (Fornós, 2003; Fornós *et al.*, 1998; Rosselló *et al.*, 1997, 2002) assenyalen diversos exemples d'interferències que es donen entre el carst i els altres modelats actuants a la zona, concretament l'erosió litoral i l'evolució de la xarxa hidrogràfica superficial.

D'acord amb aquesta darrera línia de raonament, caldria entendre aquestes pàgines: pretenem donar una visió detallada dels trets generals i de les peculiaritats morfogenètiques del carst del Migjorn de Menorca, intentant a la vegada situar aquest modelat dins el conjunt de sistemes d'erosió responsables del seu relleu actual. Així mateix es procurarà sistematitzar les regularitats observades, les quals permetran individualitzar diverses subregions càrstiques diferenciades. Tot i l'acusat interès geomorfològic del carst menorquí –sense el qual no és possible explicar el paisatge del Migjorn–, és precís admetre que parlem sempre d'un carst bastant modest, tant pel que fa a les seves característiques morfològiques com a les dimensions dels fenòmens observables (Ginés, 2003). Així no ens ha de sorprendre que siguin escasses les referències –passades o futures– al carst de Menorca en els manuals generals sobre aquesta matèria.

## LES SINGULARITATS DEL MODELAT CÀRSTIC

Quan al·ludim el vocable *carst* ens estam referint a un tipus de paisatge que té el seu referent ideal als terrenys calcaris d'Eslovènia, situats molt a prop de la frontera amb Itàlia. El topònim *kras* –epònim d'aquesta regió i germanitzat sota la forma de *karst*– ha estat adoptat internacionalment per a designar el tipus de modelat característic de les roques solubles, en particular de les roques calcàries.

Fig. 16.1.A les parets dels barrancs abunden les boques de cavitats subterrànies, com és el cas de la cova des Coloms situada al paratge de Binigaus (Es Migjorn Gran).



Una definició correcta del terme, concordant amb el paradigma eslovè, ens parlaria d'un territori dotat de unes peculiars característiques morfològiques i hidrològiques, relacionades amb una combinació d'alta solubilitat de la roca i una ben desenvolupada porositat secundària de la mateixa (Jennings, 1985; Ford i Williams, 1989). La majoria de les definicions a l'ús associen el carst amb les litologies carbonatades, distingint un seguit de formes específiques, ja siguin superficials –exocarst–, ja subterrànies –endocarst.

És necessari fer especial incidència que l'originalitat del carst radica en el seu peculiar comportament hidrològic, la manifestació fonamental del qual es materialitza en la progressiva organització dels corrents hídrics subterranis que constitueixen unitats de drenatge diferenciades (Mangin, 1974). Una interessant discussió terminològica sobre els conceptes de carst i de carstificació és subministrada per Renault (1977), qui així mateix sosté que aquest tipus de modelat ve definit per l'existència d'un drenatge subterrani de caràcter més o manco an-

isòtrop, depenent dels condicionants litològics i estructurals.

A la vista del que s'ha exposat, podem resumir els trets definitoris dels terrenys càrstics en tres aspectes clau:

- la presència de formes superficials específiques, que tendeixen a afavorir la infiltració i el drenatge endorreic de les precipitacions meteòriques;
- l'abundància de cavitats subterrànies (penetrables o no per l'home) les quals són conseqüència de la susceptibilitat de la roca als processos de dissolució, que actuen sobre una important porositat, principalment de tipus secundari en el cas de les calcàries compactes;
- i, el més important, la implantació d'un comportament hidrològic particular caracteritzat per l'existència d'un drenatge subterrani de les precipitacions, que tendeix a desarticular i reemplaçar en la seva totalitat la xarxa hidrogràfica superficial.

Aquests trets definitoris es donen amb rellevància dispar en el carst del Migjorn menorquí. Mentre les formes exocàrstiques són poc espectaculars, els fenòmens subterrànies sovintegen per tot arreu (Fig. 16.1), encara que les dimensions de les coves i avencs coneguts són més aviat modestes. El tercer aspecte clau –la hidrologia subterrània– és ben funcional a l'àrea d'estudi; no obstant això, el drenatge subterrani coexisteix amb una relativament ben desenvolupada xarxa hidrogràfica superficial, sobretot al sector central del Migjorn on les capçaleres dels barrancs assoleixen les roques impermeables de la regió de Tramuntana. En canvi, els extrems oriental i occidental de l'àrea en estudi destaquen per la presència d'una xarxa molt menys evident de valls seques, que no arriba a estar del tot desarticulada en favor del drenatge subterrani.

Les consideracions comparatives exposades permeten copsar que el Migjorn menorquí constitueix una regió càrstica –fora tota discussió–, malgrat que exhibeixi notables diferències en relació al paradigma clàssic. Com podem comprovar als següents apartats, ens trobam davant un territori on es juxtaposen formes pertanyents a diversos sistemes morfogenètics i al qual els trets

estrictament càrstics no resulten determinants pel que fa a l'aparença general del paisatge.

## EL PAPER DELS CONDICIONANTS GEOLÒGICS

Els aspectes geològics de la regió del Migjorn són objecte d'una anàlisi detallada en aquesta mateixa monografia (veure Obrador i Pomar, 2004, en aquest mateix volum), motiu pel qual ara no serà convenient estendre'ns gaire per tal d'estalviar repeticions. La finalitat, doncs, d'aquest apartat és apuntar la incidència que tenen els factors geològics –litologia i estructura, sobretot– en el comportament del sistema morfogenètic propi de les roques carbonatades.

Com ja probablement coneixem, la meitat meridional de Menorca ofereix una relativa homogeneïtat litoestratigràfica, donat que està integrada en la seva totalitat per dipòsits post-orogènics del Miocè superior (Tortonià-Messinià), els quals prograden cap al sud sobre un basament tectonitzat que abraça des del Paleozoic fins al Neogen. En els materials del Miocè superior de l'illa, es distingeixen habitualment dues unitats (Obrador, 1972/73; Obrador *et al.*, 1983; Pomar *et al.*, 2002). La inferior, que sol ser designada com a Unitat Inferior de Barres (UIB), mostra una gran variabilitat textural, en predominar-hi les calcarenites i calcisiltites, i fins i tot els conglomerats, segons l'ambient deposicional. La unitat superior, en canvi, és de caràcter escullós amb abundants cossos bioconstruïts que alternen, així mateix, amb fàcies calcarenítiques. En termes generals, aquestes dues unitats superposades presenten una distribució paral·lela al litoral, on afluïren preferentment –però de forma discontinua– els dipòsits de la unitat superior.

La disposició estructural dels materials post-orogènics del Migjorn és relativament simple, ja que es troben disposats subhoritzontals, o una mica inclinats cap al SW. S'hi observen importants falles normals de direcció WNW-ESE, que controlen de forma decisiva la trajectòria de la línia de costa. El conjunt dels materials calcaris es presenta bombat cap al centre

de la regió, formant un anticlinal lax l'eix del qual es troba orientat en direcció NNE-SSW (Gelabert, 2003). La fracturació, molt més intensa al centre de l'àrea, segueix unes direccions preferents N-S, NNE-SSW i NNW-SSE que es poden reconèixer amb facilitat en el traçat dels principals barrancs i torrents; cap als extrems oriental i occidental predominen les fractures d'orientacions WNW-ESE i WSW-ENE.

Sens dubte, el tret estructural més rellevant del Migjorn és l'esmentat aixecament relatiu que ha experimentat el sector central de la regió –comprès, aproximadament entre el barranc de Santa Anna i el de Cala en Porter–, fet que repercuteix en la distribució espacial tridimensional de les unitats del Miocè superior. Com a resultat d'aquesta disposició, a l'esmentat sector aixecat central predominen les unitats inferiors (Fig. 16.2), que presenten una permeabilitat baixa, mentre als extrems occidental i oriental afloren extensament les unitats esculloses superiors molt més permeables (Barón *et al*, 1979; García-Senz, 1985).

La conjuminació de variables litològiques i estructurals tindrà una repercussió decisiva en el funcionament del sistema càrstic i en les formes resultants, tal com anirem veient als successius apartats. Les repercussions dels condicionants geològics són bàsicament de caire hidrològic i és adequat ressaltar-ne els tres aspectes següents. Per un costat, ens trobam davant situacions ben diferents pel que fa al factor permeabilitat de la roca, segons quines siguin les unitats aflorants; així, ja s'ha comentat que la permeabilitat dels materials carbonatats del Migjorn és notòriament més elevada a les zones oriental i occidental que al seu sector central. Per altra banda, l'estructura geològica determina la posició de les roques carstificables en relació amb els nivells de base que han controlat els processos morfogenètics. En aquest sentit, i a tall d'exemple, es torna a individualitzar –de bell nou– un sector central, on la xarxa de barrancs i torrents representa (o ha representat) el nivell de base de les circulacions càrstiques; en contraposició, als sectors extrems de la regió, la

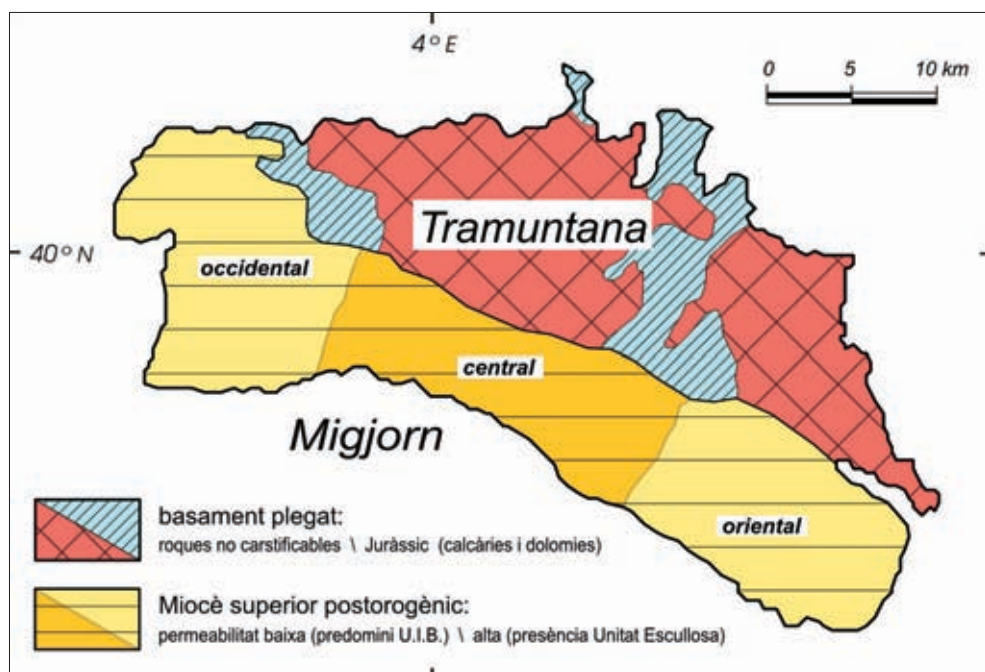


Fig. 16.2. Mapa de les regions càrstiques de l'illa de Menorca, amb indicació dels materials geològics aflorants.



hidrogeologia actual està controlada directament pel nivell marí. Finalment, l'estructuració tectònica recent del Migjorn ha determinat una configuració geomorfològica diferenciada de l'al·ludit bloc aixecat central, afavorint l'encaixament de la seva xarxa fluvial –i l'evolució paral·lela dels sistemes càrstics relacionats–, sobretot en aquells casos de barrancs importants que tenen la capçalera sobre els materials impermeables plegats de la Tramuntana.

Els condicionants geològics, tal com s'ha començat a esbossar ara, expliquen les heterogeneïtats internes del carst del Migjorn de Menorca. Dels diversos factors enunciats, els accidents estructurals pareixen condicionar molt més el modelat que la mateixa distribució geogràfica de les distintes fàcies carbonatades, diferenciables dins del Miocè superior. De més a més, no hem d'oblidar el fet que la pròpia disposició espacial d'aquestes fàcies –amb graus ben diversos de permeabilitat– és conseqüència també, en gran mesura, de l'estructuració recent de la regió.

## LES FORMES EXOCÀRSTIQUES

El paisatge del sud de Menorca es mostra als ulls de qualsevol observador amb l'aparença d'una plana suaument ondulada i molt antropitzada, la qual està provista d'una lleu inclinació cap al SSW que en cap cas arriba a valors superiors al 16 ‰. L'homogeneïtat topogràfica de la plataforma apareix interrompuda per una mena de crestes o esglaons que discorren paral·lels a la línia de costa, al llarg de desenes de quilòmetres, els quals reflecteixen presumiblement discontinuïtats de caràcter litoestratigràfic o, tal vegada, superfícies d'abrasió relictas. Aquest territori gairebé tabular es veu solcat transversalment –sobretot a la seva porció central– per profundes valls fluvials que el travessen de nord a sud; així mateix, a tota la franja litoral de la regió sovintegen barrancs de menor entitat que s'encaixen a les voreres de la plataforma emergida. Arreu de la superfície de l'àrea en estudi és possible reconèixer una quantitat discreta de formes exocàrstiques, que



Fig. 16.3. Lapiatz d'aspecte cavernós, constituït per abundants perforacions i alvèols desenvolupats sota coberta edàfica a la costa de punta Prima.

apareixen complidament recollides al mapa geomorfològic inclòs en aquesta mateixa obra (Rosselló, 2004), i de les quals ens ocupam tot seguit.

### El lapiaz

El micromodelat superficial de dissolució és, fora dubte, un dels caràcters més cridaners i distintius dels paisatges càrstics i agrupa tot un seguit de formes que confereixen singularitat a aquests territoris.

En el cas que ens ocupa, no resulta exagerat afirmar que el lapiaz és pràcticament inexistent, si feim excepció de petites prominències (decimètriques com a molt) i de formes alveolars de dissolució, originades sota un poc potent substrat edàfic (*kavernosen Karren*, *criptolapiaz*; Ford i Williams, 1989). L'aspecte esponjós d'aquestes formes de lapiaz semicobert està relacionat amb la litologia dels dipòsits calcarenítics, els quals es troben sovint molt bioturbats i són bastant heterogenis des del punt de vista textural (Fig. 16.3). També cal esmentar algunes formes inespecífiques de dissolució observables als llocs de relleu acusat, com per exemple les voreres dels principals barrancs.

Malgrat que no siguin morfologies estrictament càrstiques, mereix una menció a part l'ample repertori de cocons, perforacions, petits pinacles i superfícies rugoses en general, que caracteritzen els mecanismes de destrucció dels litorals calcaris de les Balears (Gómez-Pujol i Fornós, 2001). Les variades formes de lapiaz litoral, originades per processos bioerosius com també de dissolució inorgànica, són omnipresents al llarg de tota la franja costanera de l'illa, encara que no han estat fins fa poc objecte d'una atenció particularitzada (vegeu Gómez-Pujol i Fornós, 2004, en aquest mateix volum).

### Les depressions càrstiques

Aquestes formes de superfície no poden ser qualificades d'espectaculares ni de gaire abundants. Tot i això, García-Senz (1985) reconeix al Migjorn un poc més d'una vintena de

*dolines* –depressions tancades del terreny, que engoleixen les aigües de pluja– de magnitud decamètrica a hectomètrica en planta, a més de diversos exemples de depressions majors, de mida superior al quilòmetre.

Es tracta de dolines produïdes per dissolució (Jennings, 1985) amb el fons més aviat pla, que presenten molt poca fondària (tan sols uns pocs metres) i resulten, per tant, difícils d'identificar fins i tot en la cartografia més detallada disponible (el *Mapa Topogràfic Balear*, a escala 1/5.000). El drenatge endorreic que focalitzen aquestes dolines es realitza mitjançant freqüents engolidors (Fig. 16.4), de vegades penetrables, però sempre de desenvolupament subterrani molt modest. L'escassa fondària que assoleixen les esmentades depressions, juntament amb l'elevadíssim grau d'antropització del paisatge, fan també dificultós el reconeixement sobre el terreny d'aquestes àrees deprimides.

A la porció central de l'àrea predominen les dolines de mida mitjana o petita (màxim, alguns centenars de metres de diàmetre), com per exemple la depressió que es troba prop de les cases de Binigaus Vell en direcció a Es Migjorn Gran, o la situada entre les cases de Sant Tomàs i el barranc de Son Boter. En general, les depressions existents en aquest sector central no mostren un control estructural gaire evident; en ocasions, algunes d'aquestes dolines se situen sobre una primitiva xarxa de valls seques, que es veuen desorganitzades per la progressió del drenatge subterrani.

Les depressions de mides majors –superiors al quilòmetre de diàmetre– són més abundants a les zones extremes del Migjorn, en particular al sector oriental. Concretament, entre les poblacions de Sant Lluís, Sant Climent i Maó és factible reconèixer diverses àrees deprimides l'eix major de les quals supera o s'apropa al quilòmetre; són grans depressions, molt suaus, gairebé indetectables sense l'ús dels fotogrames aeris. A l'extrem occidental de l'illa, al sud de Ciutadella, també es poden identificar dolines d'aquestes característiques, com és el cas de la gran depressió d'uns 1.400 x 500 m, situada al costat de Sant Joan de Missa. La disposició d'aquestes depressions



Fig. 16.4. Engolidor impenetrable situat en la zona més deprimida d'una dolina de sa Marjal Vella al Migjorn menorquí.

major pareix adaptar-se a la distribució de les fàcies dels materials escullosos, exhibint una orientació paral·lela al litoral actual, donat que més o manco ressegueixen les crestes litològiques abans citades.

En la totalitat dels fenòmens observats, no resulta adequat parlar de *pòlies* –malgrat les dimensions quilomètriques d'algunes localitats– ja que manca la ruptura de pendent clara entre el fons pla reblit de sediments i les parets rocoses de la depressió (Gams, 1978; Ford i Williams, 1989). En tots els casos estaríem simplement davant grans dolines originades per dissolució del rocam carbonatat, de dimensions realment importants, emperò molt somes i poc evolucionades gràcies a l'acusada permeabilitat dels dipòsits escullosos del Miocè superior.

### **La xarxa hidrogràfica superficial i el carst**

Tal com ja s'ha anat exposant pàgines enrera, el modelat exocàrstic coexisteix amb una xarxa hidrogràfica relativament ben desenvolupada (Rosselló *et al.*, 2003), sobretot al

bloc central del Migjorn. Car referir-se ara a algunes de les seves particularitats, relacionades en certa mesura amb la morfogènesi dels territoris carbonatats.

L'aspecte que crida més l'atenció en aquest sentit és la presència dels profunds barrancs que solquen la plataforma calcària, de nord a sud. Es tracta d'autèntics canyons, morfologia que és pot considerar freqüent als massissos càrstics, allà on importants corrents al·lòctons tallen les roques calcàries. El pendent d'aquests barrancs és petit (normalment entre el 0,5 % i 1,5 %) i el seu encaixament moderat, ja que la relació amplada/fondària sol ésser sempre superior a 4. Convé recordar que els canyons càrstics es circumscriuen al sector comprès, més o manco, entre Macarella i Alaior. Dins aquesta àrea, destaquen els espectaculars canyons corresponents als barrancs d'Algendar i de Trebalúger.

La gènesi d'aquests importants aparells fluvials es relaciona amb l'aixecament del bloc central del Migjorn i la seva major freqüència de fracturació; no gensmenys, el control estructural és ben patent a gran part dels pseudome-



andres dels barrancs. A més, l'encaixament accentuat dels corrents superficials ha tingut lloc bàsicament en aquells casos que les seves capçaleres mosseguen els terrenys impermeables de la Tramuntana, amb el que això suposa d'increment en les extensions de les conques i en els cabals drenats.

Des del punt de vista del carst, cal tenir en compte dues qüestions. Per un costat, el paper dels barrancs ha estat clau pel que fa a la hidrogeologia, en la mesura que han actuat —i actuen— de nivell de base local controlador de l'espeleogènesi i les circulacions subterrànies; fins i tot avui en dia, és freqüent trobar encara fontetes o ullals en el jaç dels principals torrents. Per altra banda, és habitual localitzar engolidors en les lleres dels barrancs, sobretot en les dels tributaris més elevats de la xarxa fluvial, tal i com succeeix prop de Binimassó (Ferrerries) on se situen alguns engolidors com la mateixa cova d'en Curt, una de les cavitats més importants de l'illa. L'avenc d'Algendar

(Fig. 16.5), també a Ferrerries, representaria així mateix una pèrdua en el fons d'un d'aquests torrents (Mir, 1979).

L'observació dels terrenys adjacents a molts de barrancs permet albirar una mena de raconades de relleu molt suau i planta arredonida, que són particularment abundants en els tributaris de menor entitat; les formes esmentades són identificables amb relativa facilitat mitjançant les nombroses inflexions redonenques de les corbes de nivell, existents a les vores de la xarxa fluvial. Aquestes enfonsades poden ésser atribuïdes, plausiblement, a fenòmens de captura d'algunes dolines per part dels sistemes de drenatge superficial. En uns contextos abastament diferents, també s'aprecien circs rocosos molt més verticalitzats en els trams terminals de determinades valls, per exemple a la cala de Sant Llorenç (Alaior) o cala Macarelleta (Ciutadella). Els exemples citats han estat interpretats, així mateix, com a pretèrites depressions càrstiques desmantellades per la xarxa

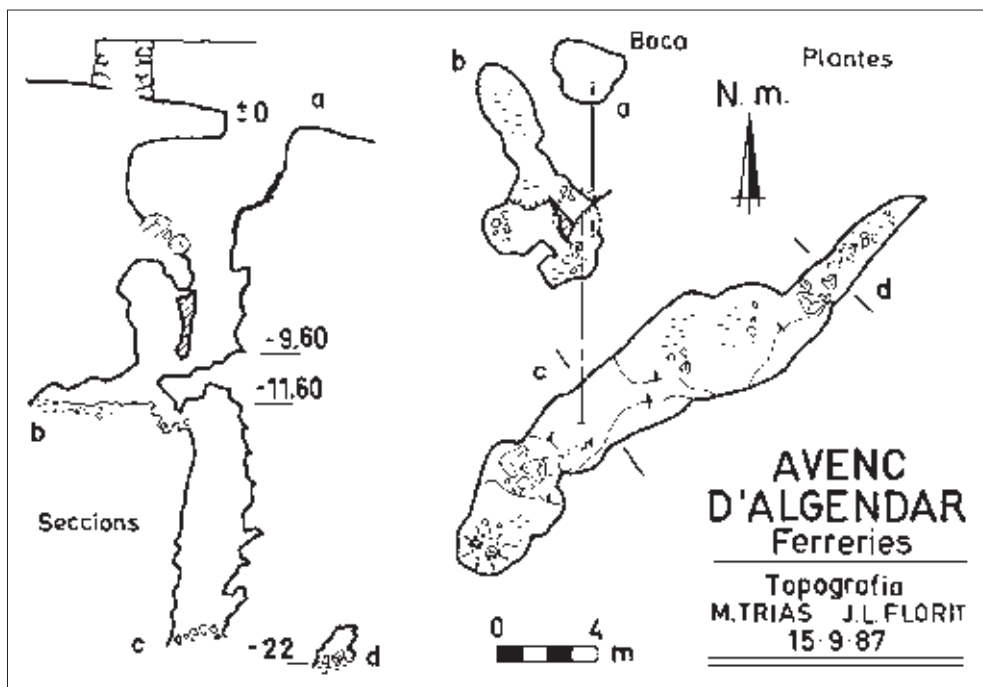


Fig. 16.5. A les lleres d'alguns barrancs, són freqüents els petits avencs que actuen d'engolidors ocasionals de l'escorrentia superficial.



Fig. 16.6. Al Migjorn s'observen restes d'una pretèrita xarxa de valls, avui en dia seques, les quals es troben més o manco desorganitzades pel progrés de la carstificació (Torrepatxina).

superficial de drenatge (Rosselló *et al.*, 1997, 2002), encara que tal vegada caldrien proves concloents que recolzassin aquest plantejament.

És precís referir-se, per acabar, a la presència de nombroses valls seques (Fig. 16.6), amples i molt poc marcades, que arriben a constituir xarxes més aviat discontinües, observables particularment en les plataformes baixes occidental i oriental (García-Senz, 1985). Sens dubte constitueixen formes relictos d'antics sistemes superficials de drenatge, avui en dia disfuncionals per mor de la progressió dels processos de carstificació, sense descartar la seva correspondència amb paleoclimes bastant més humits que l'actual. Una part significativa dels paleocanals identificables discorren paral·lels a la costa, resseguint les crestes litològiques al·ludides amb anterioritat. Algunes de les grans depressions de la zona oriental del Migjorn (entre Sant Climent i Sant Lluís) corresponen a la desorganització d'aquesta xarxa de valls seques, essent possible observar-hi dedins vestigis bastant fragmentaris.

## LA HIDROLOGIA SUBTERRÀNIA I ELS PROCESSOS ESPELEOGENÈTICS

El comportament hidrogeològic de la plataforma calcària del sud de l'illa exhibeix la ja coneguda diferenciació en tres grans subunitats, a la qual hem fet referència repetidament en parlar tant de la geologia de l'àrea com de determinats aspectes de la seva morfogènesi (consulteu Gelabert *et al.*, 2004, en aquest mateix volum). Als sectors extrems oriental i occidental, la presència de les fàcies esculloses de les unitats superiors del Miocè postorogènic fa que aquests aqüífers litorals es caracteritzin per una elevada permeabilitat (Barón *et al.*, 1979), amb gradients hidràulics baixos (inferiors al 0,4 %) i un funcionament hidrològic semblant al dels medis porosos. El fet que aquestes fàcies altament permeables (fins a 25 m/dia com a valors màxims) aflorin al voltant del nivell marí actual facilita els processos d'intrusió marina, en unes zones que a la vegada són de les més poblades de l'illa.

En contraposició, la porció central del Migjorn presenta baixes permeabilitats del rocam (0,1 m/dia, en els materials de la Unitat Inferior de Barres) dins d'un context geomorfològic constituït per un bloc aixecat tectònicament, en el qual s'encaixen importants valls fluvials. En la situació descrita es donen uns gradients hidràulics bastant més elevats (>2 %) i s'observa amb claredat l'important paper hidrogeològic dels barrancs, donat que els mapes d'isopiezes reflecteixen de manera fidel la seva trajectòria (Barón *et al.*, 1979). La hidrogeologia d'aquest sector es correspondria amb un model de doble porositat on, al costat de la porositat primària dels materials calcarenítics, en trobam una altra de més elevada, producte dels mecanismes de carstificació que exploten rígidament les directrius tectòniques d'aquesta unitat morfoestructural. Els problemes de contaminació salina són menyspreables aquí, per mor de la permeabilitat reduïda dels materials que afloren a la línia de costa, a més de l'escassa pressió humana exercida en aquesta porció del litoral.

Els recursos hídrics explotables són elevats (al voltant de 30 hm<sup>3</sup>/any), el que fa del Migjorn la unitat hidrogeològica més rellevant de l'illa. Parlant en general, la descàrrega d'aquests aquífers té lloc directament a la mar, encara que al sector central una part d'ella es produeix cap als fons dels grans barrancs, on és habitual trobar surgències d'escassa magnitud.

La caracterització hidrogeològica que acabam d'insinuar comporta l'actuació de processos espeleogenètics diversos en les distintes zones individualitzades, amb la conseqüent presència de tipologies ben diferents de cavitats subterrànies segons sigui la seva situació geogràfica. Per tant, els trets morfològics de l'endocarst del Migjorn no són en absolut homogenis degut, bàsicament, a factors de caire litoestructural, així com d'altres relacionats amb l'evolució geomorfològica de la regió.

La gènesi i evolució de les formes subterrànies de la porció central de l'illa està condicionada pel següent fet: la baixa permeabilitat, a petita escala, de les unitats de barres del Miocè superior afavoreix una carstificació molt focalitzada cap a les discontinuïtats estructurals de la plataforma calcària. L'esmentada focalització és patent a nivell de la recàrrega dels aquífers, ja que es pot constatar, per exemple, la presència d'un nombre apreciable d'engolidors i petits avencs en aquest sector (Fig. 16.5), com també la manca de grans àrees endorreiques que correspondrien a una infiltració molt més difusa, tal com succeeix a l'extrem oriental del Migjorn. On es fa més evident, emperò, la concentració del drenatge a favor de les discontinuïtats estructurals és a l'endocarst, en localitzar-se a les vores dels principals barrancs nombroses formes de drenatge rectilínies (Fig. 16.7), majoritàriament no funcionals, les quals

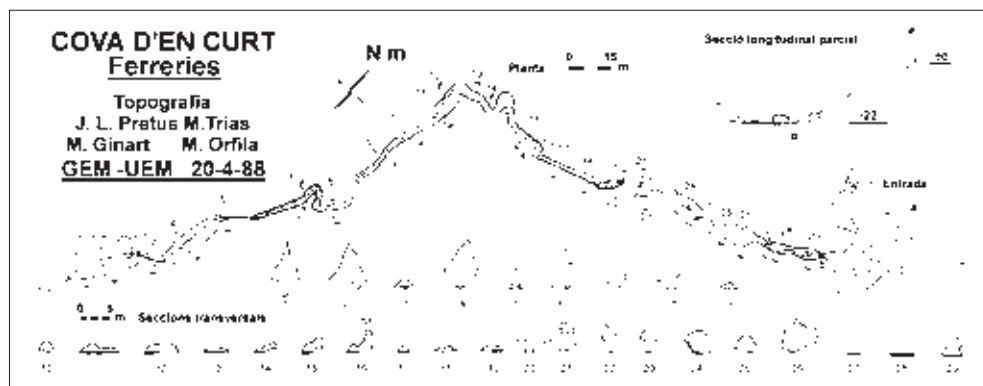


Fig. 16.7. Les coves del sector central del Migjorn es caracteritzen per la presència de galeries rectilínies, fortament controlades per la fracturació.

s'han generat i evolucionat en relació a la progressiva incisió de la xarxa fluvial epigea.

Les formes subterrànies dels extrems occidental i oriental del Migjorn, localitzades a les fàcies esculloses de les unitats superiors del Miocè postorogènic, s'haurien excavat en condicions freàtiques litorals, lligades presumiblement a l'activitat geoquímica de la zona de mescla entre aigües marines i continentals (Back *et al.*, 1984; Ginés, 1995). El control estructural és molt menys evident en aquest tipus de cavitat, gràcies a la major porositat i permeabilitat del rocam que es manifesta mitjançant la presència de llacs subterranis d'aigües salabroses. De més a més, la important evolució en condicions vadosees experimentada per aquestes coves (esfondraments de blocs rocosos, deposició d'espeleotemes) tendeix així mateix a emascarar la influència de l'estructura sobre la seva morfogènesi (Fig. 16.8).

Cal dedicar algun comentari a la cova d'en Xoroi (Murillo, 1963), cavitat explotada turísticament que s'obre als penya-segats litorals de cala en Porter, a Alaior. Consisteix en un seguit de sales d'origen freàtic, disposades de mode paral·lel a la línia de costa, i dotades d'abundants ramificacions de dimensions petites que penetren molt poc terra endins. La morfologia de la cavitat presenta semblances amb el model de *flank margin cave development* elaborat per Mylroie i Carew (1990), autors que descriuen cavitats semblants les quals s'estenen marginalment al llarg de la franja litoral d'illes carbonatades com les Bahames. Es tractaria d'un cas particular d'espeleogènesi litoral, associada també a la zona de mescla abans al·ludida.

En tota l'illa estan inventariades avui en dia prop de 350 coves i avencs, localitzats en la seva immensa majoria en els materials carbonatats del Migjorn, amb concentracions

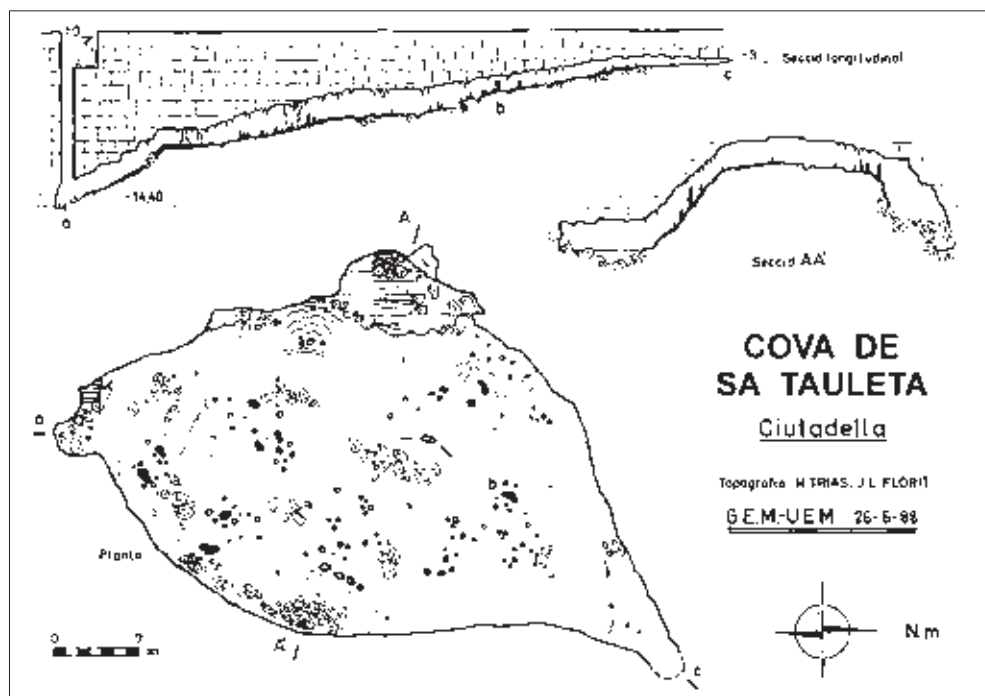


Fig. 16.8. A l'extrem occidental del Migjorn trobem coves constituïdes per grans sales, on predominen els processos d'enfonsament de les voltes i es poden observar llacs subterranis d'aigües salabroses.





Fig. 16.9. Els penya-segats costaners ocasionen el desmantellament de tot tipus de formes d'origen càrstic (pont natural a la costa de s'Algar).

majors de cavitats en les parts central i occidental d'aquesta regió natural; contràriament, l'extrem sudoriental de l'illa (municipis de Maó, Sant Lluís i Es Castell) és pobre en cavitats dignes de menció. Aquests fenòmens endocàrstics són sempre de dimensions modestes: per una part les formes verticals, o avencs, assoleixen fondàries de tan sols unes desenes de metres, mentre que les coves de desenvolupament horitzontal tenen normalment recorreguts subterranis inferiors al quilò-

metre (vegeu Trias, 2004, en aquest mateix volum). Una excepció destacable s'allunya dels rangs espeleomètrics abans esmentats, ja que la font de sa Vall –o cova de s'Aigo de Son Boter, en el municipi d'Es Migjorn Gran– ultrapassa els tres quilòmetres de desenvolupament, malgrat es tracti d'una xifra encara pendent de confirmació topogràfica. En conjunt, podem dir que les cavitats d'una certa rellevància espeleomètrica i morfològica no arriben al centenar dins la regió natural que ens ocupa.

### EL MIGJORN DE MENORCA: UNA CRUÏLLA DE MODELATS DIVERSOS

La revisió detinguda que hem fet de les particularitats associades a la naturalesa calcària de la meitat meridional de l'illa, ens permet copsar que el paisatge geomorfològic resultant ha de ser interpretat des d'una òptica necessàriament pluricausal. La morfogènesi càrstica no és l'única implicada en la conformació del relleu del Migjorn; ben al contrari, aquesta singular regió menorquina esdevé el resultat de la dialèctica entre diversos modelats que han anat actuant, de manera relativament independent, durant el Plio-quaternari. Els sistemes d'erosió implicats són, al manco, l'erosió fluvial –i la dinàmica de vessants associada–, la carstificació i la dinàmica litoral.

L'actuació d'aquests modelats al llarg de l'espai i del temps fa que per força existeixin interferències entre ells, malgrat que en la majoria dels casos no es pugui observar –al nostre parer– una supeditació o primàcia notable d'un modelat envers els altres. De més a més, altres aspectes, com la variabilitat pleistocènica del nivell marí, afegeixen una complicació addicional a la història geomorfològica de l'àrea, a causa de la gran inestabilitat espacial i temporal dels nivells de base que han regit el treball dels diferents sistemes morfogenètics. Per acabar d'adobar aquest complex panorama, cal tenir en compte l'activitat de l'home durant els darrers mil·lenis. La intervenció

antropica en el paisatge és tal que ha arribat a emmascarar i determinar-ne la fisonomia actual i, fins i tot, alterar la dinàmica dels modelats que hi estan representats.

Per tal d'il·lustrar, amb qualche exemple, de quina manera els diferents sistemes morfogenètics van treballant fins que es troben i interfereixen en algun moment, cal fixar-se en les informacions accessibles en els accidents més dinàmics de la topografia illenca, és a dir els penya-segats. El progressiu retrocés de les timbes –siguin costaneres o pertanyents a les parets dels barrancs– és ben normal que seccioni, i tregui a la llum, formes relacionades amb la carstificació de la plataforma carbonatada (Fig. 16.9). El cas de cala Galdana resulta prou instructiu en aquest sentit (Fornós, 2003), ja que la trajectòria meandritzant del barranc talla alguns esfondraments càrstics visibles particularment en la vorera sud de la cala; així mateix, resseguint el litoral cap a l'est, l'erosió litoral ha capturat diverses formes càrstiques (dolines de col·lapse, conductes endocàrstics) que donen origen a successives endinsades rodonesques de la línia de costa.

En general, al llarg de tota la costa del Migjorn s'observen nombrosos conductes i tot tipus de cavitats càrstiques més o manco destruïts per l'erosió costanera (Rosselló *et al.*, 2002), fet que posa de manifest la situació que hem argumentat d'interferències –no necessàriament causals– entre diferents sistemes morfogenètics.

Regions càrstiques		Marc geològic			Formes exocàrstiques			Formes endocàrstiques			Hidro-geologia
		materials mesozoics plegats	Miocè postorogènic unitats inferiors	unitats superiors	grans depressions	dolines	lapiaz	cavitats verticals	formes de drenatge horitzontal	coves clàstiques litorals	
<b>Tramuntana</b>		●				◆	◆	◆		◆	aqüífers fissurals
<b>Migjorn</b>	occidental	○		●	◆	◆				◆	aqüífers isotrops
	central		●			◆		◆	◆	◆	aqüífers doble porositat
	oriental		○	●	◆	◆				◆	aqüífers isotrops

● litologia dominant    ○ altres litologies aflorants    ◆ present    ◆ comú    ◆ abundant

Fig. 16.10. Trets diferencials de les regions càrstiques de l'illa de Menorca.

## CONCLUSIONS: LES REGIONS CÀRSTIQUES DE MENORCA

Els trets específics de la carstificació desenvolupada a les unitats morfoestructurals que componen l'illa (Ginés i Ginés, 1989), permeten establir distintes regions càrstiques més o manco diferenciades (Fig. 16.2), tres de les quals integren conjuntament la singular plataforma de la Menorca meridional. Els aspectes diferencials de les regions càrstiques establertes apareixen reflectits a la figura 16.10, on s'han reunit també, a títol comparatiu, les dades corresponents als afloraments calcaris mesozoics de la Tramuntana.

Centrant-nos en la carstificació dels materials del Miocè superior que conformen el Migjorn, queda molt clarament individualitzat un sector central, que es caracteritza per un modelat càrstic poc espectacular però peculiar, l'evolució del qual va estar controlada —en primera instància i des dels punts de vista geomorfològic i hidrològic— per la incisió dels barrancs que integren la xarxa fluvial. El fet diferencial més destacable d'aquesta subregió central consisteix en l'existència d'abundants formes subterrànies de drenatge, que s'obren a les parets dels principals barrancs. Les depressions càrstiques són escasses i es tracta, en general, de dolines de mides decamètriques.

Per altra banda, els sectors occidental i oriental constitueixen un carst de caràcter costaner, que afecta les fàcies esculloses miocèniques, molt relacionat, quant a la seva gènesi i evolució, amb les vicissituds del nivell marí quaternari. Dins aquestes dues àrees extremes, les grans dolines de dimensions hectomètriques estan ben representades, al temps que l'endocarst ofereix alguns trets distintius, com són el predomini de les sales àmplies, evolucionades mitjançant mecanismes d'esfondrament de les voltes, i l'existència de llacs hipogeus d'aigües salabroses.

La geomorfologia del sud de Menorca, com a territori majoritàriament calcarí que és, està del tot condicionada per la incidència dels processos càrstics. Malgrat això, cal que la rellevància d'aquest modelat sigui avaluada amb la major objectivitat, tenint en considera-

ció les peculiaritats introduïdes per factors litoestructurals, climàtics, hidrogeològics i geomorfològics en general. El resultat final, pel que fa a la gènesi del relleu del Migjorn, radica en l'actuació conjunta de diversos sistemes morfogenètics (fluvial, càrstic, litoral...) que es desenvolupen i interactuen entre ells al llarg dels darrers milions d'anys. La importància relativa de cada sistema no és fàcil de determinar, encara que ja s'ha apuntat que Menorca difícilment podrà ser considerada com a paradigma de paisatge càrstic convencional.

## Agraïments

El present treball és una contribució al projecte BTE2002-04552-C03-02 del Ministerio de Ciencia y Tecnología.

## BIBLIOGRAFIA

- BACK, W., HANSHAW, B.B. i VAN DRIEL, J.N. 1984. Role of groundwater in shaping the eastern coastline of the Yucatan Peninsula, Mexico. In: Lafleur, R.G. (ed.): *Groundwater as a Geomorphic Agent*. Allen & Unwin Inc. 281-293. Boston.
- BARÓN, A., BAYÓ, A. i FAYAS, J.A. 1979. Relación modelo geológico-modelo hidrogeológico. Ejemplo: el acuífero mioceno de la isla de Menorca. *Act. II Simposio Nacional Hidrogeología*, 4. 19 pp. Pamplona.
- FORD, D.C. i WILLIAMS, P.W. 1989. *Karst Geomorphology and Hydrology*. Unwin Hyman. 601 pp. Londres.
- FORNÓS, J.J. 2003. El karst y la evolución del litoral del Migjorn de Menorca. In: Rosselló, V.M.; Fornós, J.J. i Gómez-Pujol, L. (eds.) *Introducción a la Geografía Física de Menorca. Guía de Campo de las XVIII Jornadas de Geografía Física*. AGE - Universitat de València - Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 10: 101-110. Palma de Mallorca.
- FORNÓS, J.J., FUMANAL, M.P., PONS, G.X., BARÓN, A., FORNÉS, A., PARDO, J.E., RODRÍGUEZ-PÉREA, A., ROSSELLÓ, V.M., SEGURA, F. i SERVERA, J. 1998. Rebliment holocènic a la vall incisa del barranc d'Algendar (Cala Galdana, sud de Menorca, Mediterrània Occidental). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 41: 173-189.
- GAMS, I. 1978. The polje: the problem of definition with special regard to the Dinaric karst. *Zeitschrift für Geomorphologie*, N.F. 22 (2): 170-181.
- GARCÍA-SENZ, J.M. 1985. *Estudio geomorfológico del karst del Migjorn menorquín*. Tesis de Llicenciatura. Departament de Geodinàmica Externa i Hidrogeologia. Universitat Autònoma de Barcelona. 51 pàgs. Inèdita.
- GELABERT, B. 2003. La estructura geològica de Menorca: las zonas de Tramuntana y Migjorn. In: Rosselló, V.M.; Fornós, J.J. i Gómez-Pujol, L. (eds.) *Introducción a la*

- Geografía Física de Menorca. Guía de Campo de las XVIII Jornadas de Geografía Física.* AGE - Universitat de València - Mon. Soc. Hist Nat. Balears, 10: 39-48. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J. 1995. L'endocars de Mallorca: els mecanismes espeleogenètics / Mallorca's endokarst: the speleogenetic mechanisms. In: Ginés, A. i Ginés, J. (eds.): *El carst i les coves de Mallorca / Karst and caves in Mallorca. Endins*, 20 / Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 3: 71-85. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J. 2003. El modelado kárstico. In: Rosselló, V.M.; Fornós, J.J. i Gómez-Pujol, L. (eds.) *Introducción a la Geografía Física de Menorca. Guía de Campo de las XVIII Jornadas de Geografía Física.* AGE - Universitat de València - Mon. Soc. Hist Nat. Balears, 10: 65-70. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J. i GINÉS, A. 1989. El karst en las islas Baleares. In: Durán, J.J. i López-Martínez, J. (eds.): *El karst en España.* Sociedad Española de Geomorfología. Monografía 4: 163-174. Madrid.
- GÓMEZ-PUJOL, L. i FORNÓS, J.J. 2001. Les microformes de meteorització del litoral calcari de Mallorca: aproximació a la seva sistematització. *Endins*, 24: 169-185.
- JENNINGS, J.N. 1985. *Karst Geomorphology.* Basil Blackwell. 293 pp. Oxford.
- LULL, V., MICÓ, R., RIHUETE, C. i RISCH, R. 1999. *La Cova des Càrritx y la Cova des Mussol. Ideologia y sociedad en la prehistoria de Menorca.* Consell Insular de Menorca, Ajuntament de Ciutadella i Fundació Rubió Tudurí Andrómaco. 699 pp. Maó.
- MAHEU, J. 1912. Exploration et flore souterraine des cavernes de Catalogne et des Îles Baléares. *Spelunca*, 8 (67): 69-107.
- MANGIN, A. 1974. Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. Généralités sur le karst et les lois d'écoulement utilisées. *Annales de Spéléologie*, 29 (3): 283-332.
- MIR, F. 1976. Les formes hipogees del Barranc d'Algendar (Menorca). *Endins*, 3: 27-39.
- MIR, F. 1979. Noves aportacions al coneixement de les coves de Menorca. *Endins*, 5-6: 19-28.
- MURILLO, A. 1963. La cueva den Xoroi. *Revista de Menorca*, 3: 327-342.
- MYLROIE, J.E. i CAREW, J.L. 1990. The flank margin model for dissolution cave development in carbonate platforms. *Earth Surface Processes and Landforms*, 15: 413-424.
- OBRADOR, A. 1972/73. Estudio estratigráfico y sedimentológico de los materiales miocénicos de la isla de Menorca. *Revista de Menorca*, 64: 37-197; 65: 35-97 i 125-189.
- OBRADOR, A. i MERCADAL, B. 1981. Geomorfología de Menorca. In: Vidal, J.M. (Ed.) *Enciclopèdia de Menorca*, Vol. 1: 267-320. Obra Cultural Balear. Maó.
- OBRADOR, A., POMAR, L., RODRÍGUEZ-PEREA, A. i JURADO, M.J. 1983. Unidades deposicionales del Neógeno menorquín. *Acta Geológica Hispánica*, 18: 87-97.
- POMAR, L., OBRADOR, A. i WESTPHAL, H. 2002. Sub-wavebase cross-bedded grainstone on a distally steepened carbonate ramp, Upper Miocene, Menorca, Spain. *Sedimentology*, 49: 139-169.
- PUIG Y LARRAZ, G. 1896. *Cavernas y simas de España.* Est. Tip. de la viuda e hijos de M. Tello. 440 pp. Madrid.
- RENAULT, P. 1977. Remarques sur les notions de karst et de karstification et sur la définition de ces termes. *Norois*, 24 (95): 23-35.
- ROSSELLÓ, V.M., FORNÓS, J.J., FUMANAL, M.P., PARDO, J.E. i RODRÍGUEZ-PEREA, A. 1997. Elementos morfogenéticos de calas y barrancos del sur de Menorca. *Actas XV Congreso de Geógrafos Españoles.* Univ. Santiago de Compostela, 1: 245-255.
- ROSSELLÓ, V.M., FORNÓS, J.J., GELABERT, B., GIMÉNEZ, J., GINÉS, J., PARDO, J.E. i SEGURA F. 2002. El papel del karst en el macromodelado litoral: el ejemplo de las calas de las Islas Baleares. In: Carrasco, F.; Durán, J.J. i Andreo, B. (eds.) *Karst and Environment*, Fundación Cueva de Nerja. 329-335.
- ROSSELLÓ, V.M., FORNÓS, J.J. i GÓMEZ-PUJOL, L. (eds.) 2003. *Introducción a la Geografía Física de Menorca. Guía de Campo de las XVIII Jornadas de Geografía Física.* AGE - Universitat de València - Mon. Soc. Hist Nat. Balears, 10. 232 pp. Palma de Mallorca.
- SEGÚI, B., BOVER, P., TRIAS, M. i ALCOVER, J.A. 1998. El jaciment fòssilífer de la Cova C-2 (Ciutadella de Menorca). *Endins*, 22: 81-97.
- THOMAS-CASAJUANA, J.M. i MONTORIOL-POUS, J. 1951. Los fenómenos kársticos de Parelleta (Ciudadela, Menorca). *Speleon*, 2 (4): 191-216.
- TRIAS, M. 1985. Les campanyes espeleològiques del 84 a Menorca. *Endins*, 10-11: 3-12.
- TRIAS, M. i GINÉS, J. 1989. Algunes noves cavitats de l'illa de Menorca. *Endins*, 14-15: 5-16.